

전문가시스템에 의한 전선착설예측

최 규 형

한국전기연구소

Expert System Approach for Snow Accretion on Transmission Lines

Kyu-Hyeong, Choi

KERI

Abstract

Snow accretion on transmission lines may cause critical accidents such as sleet jump, tower collapses, etc.. In order to assist power system operators to prevent these accidents, a prototype expert system had been developed. The system has basic functions of forecasting snow accretion on transmission lines and making a list of all feasible and effective deicing countermeasures. The knowledge of the effect of weather conditions on the snow accretion process continue main rule base. Simulation results show that the proposed system is very promising.

전선주위를 회전하면서 발달해 나간다는 점에 착목해서 착설이 회전하는 것을 방지하기 위한 ring 이나 counterweight 를 선로에 장착하는 난착설화의 방법이 개발되어 효과를 올리고 있으나 기상조건에 따라서는 착설을 피하지 못한다는 결점이 있다. 이상과 같은 방법외에, 보수원이 현장으로 출동하여 선로를 두드려 전선에 부착되어 있는 빙설을 떨어뜨리는 방법도 가능하나 막대한 노력이 필요하고 또 위험하기 때문에 가능한한 다른 대책이 선호되고 있다. 따라서 선로에 대전류를 흘려서 주열을 발생시켜 선로의 착설을 용해하는 통전방식이 효율적으로, 용설에 필요한 전류는 다음식과 같이 구해진다[3].

1. 서론

전선에의 착설은 sleet jump, galloping 등을 유발시켜 상간단락과 같은 전기적사고, 또는 단선이나 철탑붕괴와 같은 중대사고를 일으킬 위험이 있기 때문에 송전기술이 채용되기 시작했던 초기부터 중요한 문제로 인식되어 연구가 진행되어 왔다. 일반적인 착빙설(icing) 현상중에서도 착빙과 착설은 전력 플린 현상으로 그 발생기구도 틀리다. 착빙은 운중착빙(in-cloud icing)으로도 불리며 과냉각의 상태에 있는 물방울이 전선에 충돌해 동결함으로써 발달하는 현상으로 산악지나 극한지와 같은 과냉각된 물방울이 존재하는 곳에서 주로 발생하며, 각방면에서 활발하게 연구가 진행되어 그 정체가 거의 확실하게 파악되고 있다. 한편 착설은 수분을 포함한 눈이 전선에 부착해 발달하는 현상으로 착빙의 연구에 비해 늦어 지고있다[1]. 전력중앙연구소에서는 전선착설의 모델을 제안해 온라인 기상예보데이터를 이용한 착설예보시스템을 개발하고 있다[2]. 그러나 전선착설은 기상학, 물리학등과 깊이 관련된 종합문제도 그 연구에 곤란한 점이 많고 아직 많은 과제를 남기고 있다. 본연구에서는 지식공학의 수법을 응용하여 전선착설의 예측및 방지대책을 결정해서 전력계통운용자를 지원하는 전문가시스템을 개발하였다. 개발한 시스템은 현재 일본의 북해도전력주식회사에 설치하여 실용화를 위한 시험을 수행하고 있다.

2. 전선착설방지대책

전선착설사고로 인한 전력설비의 피해를 방지하기 위하여, 철탑의 기계적 강도를 강화하거나 전선을 채용하는등의 설비를 강화하는 방법은, 발생빈도가 매우 낮은 전선착설에 대하여 과잉투자를 하는 결과가 되어 비경제적이다. 또한 전선에 부착한 착설이

$$I_0 = \sqrt{\{2rM(80-0.48Ta)J/R + ((1+L/X_0)\beta \sqrt{rV(-Ta)}\}} \quad (1)$$

- 단, J : 열의 일당량[J/cal]
- R : 전선의 전기저항[ohm/Cm]
- r : 전선의 반경[Cm]
- M : 강설강도[g/Cm/sec]
- Ta : 외기온[°C]
- V : 풍속[m/sec]
- X₀, β : 정수

선로의 전류를 증가시키기 위해 다음과 같은 방법이 취해지고 있다.

- (1) 1회선정지
2회선 송전선에서 1회선을 정지시키고 남은 회선에 부하전류를 집중시킨다. 1회선의 용설이 끝난 후 남은회선의 용설을 실시
- (2) 병행선로 정지
선로에 병행선로가 있을 경우 한쪽의 병행선로의 1회선 또는 2회선 전부를 정지시켜 남은회선 및 병행선로의 용설을 실시
- (3) 발전조정
용설전류가 필요한 선로의 조류를 증가시키도록 발전기의 출력을 조정
- (4) 부하절체
절체가능한 부하가 있을 경우 용설이 필요한 선로에 부하를 절체시켜 선로전류를 증가
- (5) 용설회선구성
용설 대상 선로를 포함한 폐회로를 구성하여 필요한 만큼의 전류를 선로에 흘리는 방법이나, 변압기와 절지용 단로기와 같은 설비가 설치되어 있고 2회선선로로 1회선이 정지가능한 선로에 대해서만 실시가 가능

식(1)과 같이, 착설이 발달하여 그 외경이 커진 경우에는 용설에 막대한 전류가 필요하게 되나, 착

설량이 적은 초기 단계에서는 적은 전류로도 용설 또는 낙설이 가능하다. 따라서 이와 같은 대책을 실시하기 위해서는 전선착설의 발생을 정확하게 예측하여 시기 적절하게 용설전류를 흘려 주는 것이 무엇보다 중요하다. 착설을 정확하게 측정하기 위해서는 선로에 load cell 을 설치하여 전선에의 기계적하중을 직접 측정해 착설하중을 추정하는 방법이 취해지고 있다. 또한 전선에 착설이 발생할 경우 전력선 반송신호의 전송손실이 증가하는 특성을 이용해, 전력선반송신호의 전송손실을 주기적으로 측정해서 착설발생을 추정하는 방법도 가능하다.

3. 전문가시스템

전선착설에 의한 피해를 피하기 위해서는 전선착설이 예측되는 시점에서 적절한 착설방지대책을 실시하면 되나, 전선착설은 극히 드물게 발생하는 자연현상으로 계통운용자들이 전선착설로 인한 사고를 경험할 수 있는 기회가 적기 때문에 다음과 같은 문제점이 있다.

- (1) 전선착설은 용해점에 가까운 온도에서의 자연현상이기 때문에 그 발달도중 또는 발달정지후에도 급속히 성질이나 구조가 바뀌기 쉽고 송전선로의 착설상황 및 향후의 발달가능성을 예측하기가 매우 곤란하다.
- (2) 착설이 크게 발달한 후에는 통전전류에 의한 용설효과가 적어지기 때문에 착설대책의 실시시기가 중요하다.
- (3) 통전에 의한 용설대책은 선로에 대전류를 흘리기 위해 전력계통의 신뢰도를 크게 저하시키기 때문에 이러한 대책을 실시하기 위해서는 정전의 가능성을 각오해야 하는 등 결단이 필요하다.

이상과 같은 이유로, 착설의 예측이 틀려서 실제로는 착설이 발생하지 않았음에도 불구하고 용설대책을 실시해서 전력계통의 신뢰도를 저하시킬 것을 우려하는 나머지, 착설을 어느정도 예측하면서도 적절한 대책을 실시하지 못하고 망설이다가 중도의 착설 또는 착설사고에 이르고 만다는 문제가 있다. 이상과 같이, 착설방지대책과 그 실시시기의 결정에는 전선착설에 의한 설비피해 가능성과 전력계통의 고신뢰도 운용과의 상반을 고려해야 하기 때문에 고도한 판단과 결단이 필요하게 되어 전력계통운용자에게는 곤란한 작업으로 되어 있다. 이와 같이 문제해결과정을 알고리즘화 하기가 곤란하고 경험적인 지식에 의존할 수 밖에 없는 경우에 특히 지식공학적인 방법이 유용하다. 이상과 같은 배경에서, 착설대책 결정과정에서의 경험적 지식을 지식베이스화 함으로써 전선착설상황을 추론해 적절한 착설방지대책을 제시해서 계통운용자를 지원하는 전문가 시스템을 개발했다.

이 시스템은 전선착설에 의한 설비의 피해를 방지하기 위해 계통운용자를 지원함과 동시에, 착설사고를 피할수 없는 경우에는 복구작업을 빨리 수행하기 위해 보수원을 대기 시켜 놓는 등 보수업무에도 이용할 수 있다.

3.1 시스템의 구조

제안시스템은 그림1.과 같이 구성되어 있는 전형적인 production system이다. 추론엔진을 포함해 전시스템이 지식시스템용 언어인 OPS83 으로 기술되어 있다.

3.2 데이터 베이스

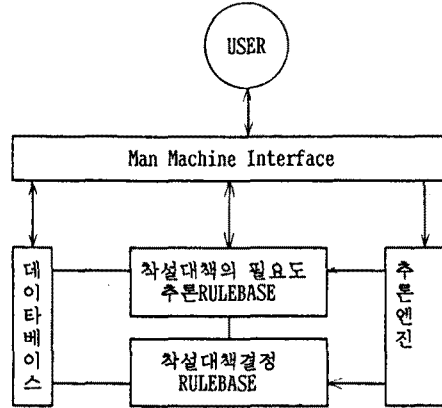


그림 1 시스템의 구조

각 선로 및 지역 고유의 데이터로서 전력계통 구성에 관한 데이터, 착설검지설비나 착설방지대책결정에 관한 데이터 및 착설이 발생하기 쉬운 기상조건에 관한 데이터가 축적되어 있다.

3.3 룰 베이스

제안 시스템의 룰 베이스는 전선착설의 예측에 관한 룰과 착설방지대책결정에 관한 룰로 구성되어 있다.

(1) 전선착설의 예측

착설의 예측에는 기온, 풍속, 강설량 등의 기상조건과 전력선반송신호의 전송손실량의 변동, load cell이 설치되어 있는 선로에 대해서는 그의 동작 정도등을 참조하여 현재의 착설상황과 급후의 착설 성장가능성을 추론해 그 결과로부터 착설사고의 발생가능성 즉 착설방지대책의 필요도를 추론한다.

(2) 착설방지대책의 결정

전력계통구성에 관한 데이터베이스와 온라인으로 입력되는 계통데이터로부터 2회선선로에서의 1회선의 정지가능성, 병행선로가 있는 경우 그 선로의 정지 가능성, 용설회선의 구성가능성을 검토함과 동시에 이러한 대책을 실시함으로써 용설에 필요한 전류가 얻어지는 지 여부를 추론하는 룰로 구성되어 있다.

4. 추론에

전선착설에 의해 송전선로에 중대한 사고가 발생했을 때의 당시의 데이터를 이용해서 제안시스템으로 추론을 행한 결과의 일부를 그림 2에 보인다. 여기서 O,E,U 지구부근이라고 하는 것은, A선로를 여러개의 선로구간으로 나눈것으로 사고는 E지구부근에서 발생하였다. 사고발생으로부터 6시간20분전의 시점에서의 추론결과는, E지구부근에서 착설은 아직 발달하지 않고 있으나 앞으로 발달할 가능성이 크기 때문에 [가능한 한 빨리 착설대책을 실시할 필요가 있다]는 경고로 나와 있다. 또한 O,E지구부근에서는 [착설대책의 필요는 없다]로 추론결

***** A선의 착설주의도

- 추론--- 0지구부근은, 경계지구입니다.
- 추론--- U지구부근은, 경계지구입니다.
- 추론--- E지구부근은, 경계지구입니다.

***** A선의 착설상황

- 추론--- 0지구부근은, 착설무입니다.
- 추론--- U지구부근은, 착설무입니다.
- 추론--- E지구부근은, 착설 무입니다.

***** A선의 착설발달가능성

- 추론--- E지구부근은, 발달가능성 대입니다.
- 추론--- 0지구부근은, 발달가능성 소입니다.
- 추론--- U지구부근은, 발달가능성 유입니다.

***** A선의 착설대책 필요도

- 추론--- E지구부근은, 가능한한 빨리 대책 요입니다.
- 추론--- 0지구부근은, 대책의 필요 무입니다.
- 추론--- U지구부근은, 대책의 필요 무입니다.
- 결론--- A선은, 가능한 한 빨리 대책 요입니다.

***** A선의 착설대책

- 지명--- A선은 가능한 빨리 대책 요입니다.
- 대책--- 발전조정, 부하절제, 인력에 의한 낙설
- 주의--- 특히 다음의 연선지구는 경계가 필요합니다.
E지구부근

(a) 사고발생 6시간20분전

***** A선의 착설주의도

- 추론--- 0지구부근은, 경계지구입니다.
- 추론--- U지구부근은, 경계지구입니다.
- 추론--- E지구부근은, 경계지구입니다.

***** A선의 착설상황

- 추론--- 0지구부근은, 착설무입니다.
- 추론--- U지구부근은, 중도착설입니다.
- 추론--- E지구부근은, 중도착설입니다.

***** A선의 착설발달가능성

- 추론--- E지구부근은, 발달가능성 대입니다.
- 추론--- 0지구부근은, 발달가능성 소입니다.
- 추론--- U지구부근은, 발달가능성 소입니다.

***** A선의 착설대책 필요도

- 추론--- E지구부근은, 사고 발생 위험입니다.
- 추론--- 0지구부근은, 대책의 필요 무입니다.
- 추론--- U지구부근은, 대책의 준비 요입니다.
- 결론--- A선은, 사고 발생 위험입니다.

***** A선의 착설대책

- 지명--- A선은 사고발생 위험입니다.
- 대책--- 발전조정, 부하절제, 인력에 의한 낙설
- 주의--- 특히 다음의 연선지구는 경계가 필요합니다.
E지구부근, U지구부근

(b) 사고발생 4시간20분전

그림 2 추론결과

과로 되어 있다.

또한 E지구부근에서는 착설에 적합한 기온, 풍속, 기온의 기상조건하에서 위험수준 이상의 강설이 계속되었기 때문에, 사고발생으로부터 4시간20분전의 시점에서는 중도의 착설이 부착되어 있는 데다가 앞으로도 더욱 성장할 가능성이 높기 때문에 [착설 사고가 발생할 가능성이 있다]는 경보가 나와 있다.

그리고 적절한 착설대책으로서는 [발전조정], [부하절제], [인력에 의한 낙설]이 제안되고 있다.

이상과 같이, 착설사고가 발생하기 6시간 전부터 계속해서 착설사고의 발생가능성을 지적함으로써 계통운용자를 도와 사고를 방지할 수 있었다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 전문가시스템을 도입 함으로서 송전선에서의 전선착설의 예측 및 방지대책의 수립을 효과적으로 수행할 수 있음을 보였다.

제안시스템은 OPS83을 사용하여 시스템을 기술함으로서 전력계통운용에 있어서 실시간 처리를 가능하게 하였으며, menu방식의 Man-Machine Interface와 추론과정의 설명기능등을 부가함으로서 누구나 이용하기 쉽게되어 있는 등 실용화를 위한 노력을 기울이고 있으나, 실계통에 실제로 적용하기 위해서는 지식베이스및 Man-Machine Interfaced의 정교화 등이 필요하리라 생각된다.

참고문헌

1. 板本, "送電線への着氷雪の機構と荷重推定" 전기학회잡지 109권 1호, pp.21-28(1989)
2. 전력중앙연구소연구보고 "송전선의 착설예보 시스템" No.T89001(1989)
3. "송전선에서의 용빙설전류" 雪氷 27권3호(1965)
4. 최규형 외 2인 "電線着氷對策決定支援エキスパートシステムの開發", 일본전기학회논문지B분책 110권8호 pp.669-676(1990)